

# 电弱物理的实验研究

尹航

美国费米国家加速器实验室 (Fermilab)

全职回国单位：华中师范大学

1. 个人简历
2. 主要贡献
3. 工作设想和研究计划

# 简历

- 1984年10月出生
- 2005年7月获山东大学物理学学士学位
- 2010年7月获中国科学技术大学近代物理系博士学位
  - 指导老师：韩良教授
  - 研究课题：Z玻色子前后不对称性的研究及弱混合角 ( $\sin\theta_w^2$ ) 精确测量
- 2007年至2010年在美国费米国家实验室（Fermilab）访问学生
- 2010年至今在美国费米国家实验（Fermilab）做博士后研究
  - 2010年至2013年在D0国际合作组工作
  - 2013年至今在CMS国际合作组工作

# 科研经历

## ➤ 物理研究：

- 2006-2010：D0实验上寻找超对称R宇称破缺 $e\mu$ 共振态新粒子，[\[PRL 100, 241803\]](#)，[\[PRL 105, 191802\]](#)
- 2008-至今：D0实验上精确测量弱混合角，[\[PRL 101, 191801\]](#)，[\[PRD 84, 012007\]](#)
- 2011-至今：D0实验上精确测量W玻色子电荷不对称性，[\[PRL 112, 151803\]](#)
- 2012-2014：作为D0国际合作组的电弱物理组召集人（Convener）推动>10篇文章的发表

## ➤ 探测技术研究

- 2007-2011：D0实验上量能器的精确刻度及能量测量
- 2013-至今：[CMS探测器升级](#)，[硅径迹探测器触发系统的研发](#)（Level-1 tracking trigger）

# 研究背景：粒子实验物理

## 学科特点：

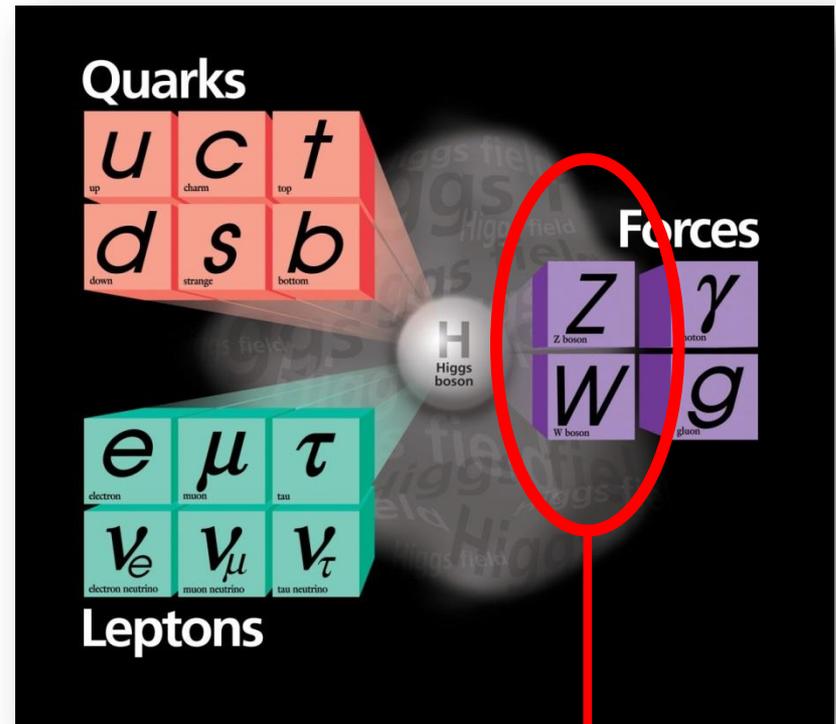
- 大学科装置、尖端技术、高投入（LHC~\$90亿）、长周期（~30年）
- 全球性的国际合作
- 产生了数十个诺贝尔奖

## 基本科学问题：

- 物质世界最基本的构成、及其之间的相互作用
- 绝大多数物理现象可以通过四种基本作用力解释

## 标准模型：描述基本粒子及其相互作用的理论

- 三代粒子：轻子，夸克
- 规范玻色子传递相互作用：  
强相互作用，弱相互作用，  
电磁相互作用
- 弱相互作用+电磁相互作用  
→ 电弱理论



电弱物理的重要研究对象：  
W玻色子与Z玻色子

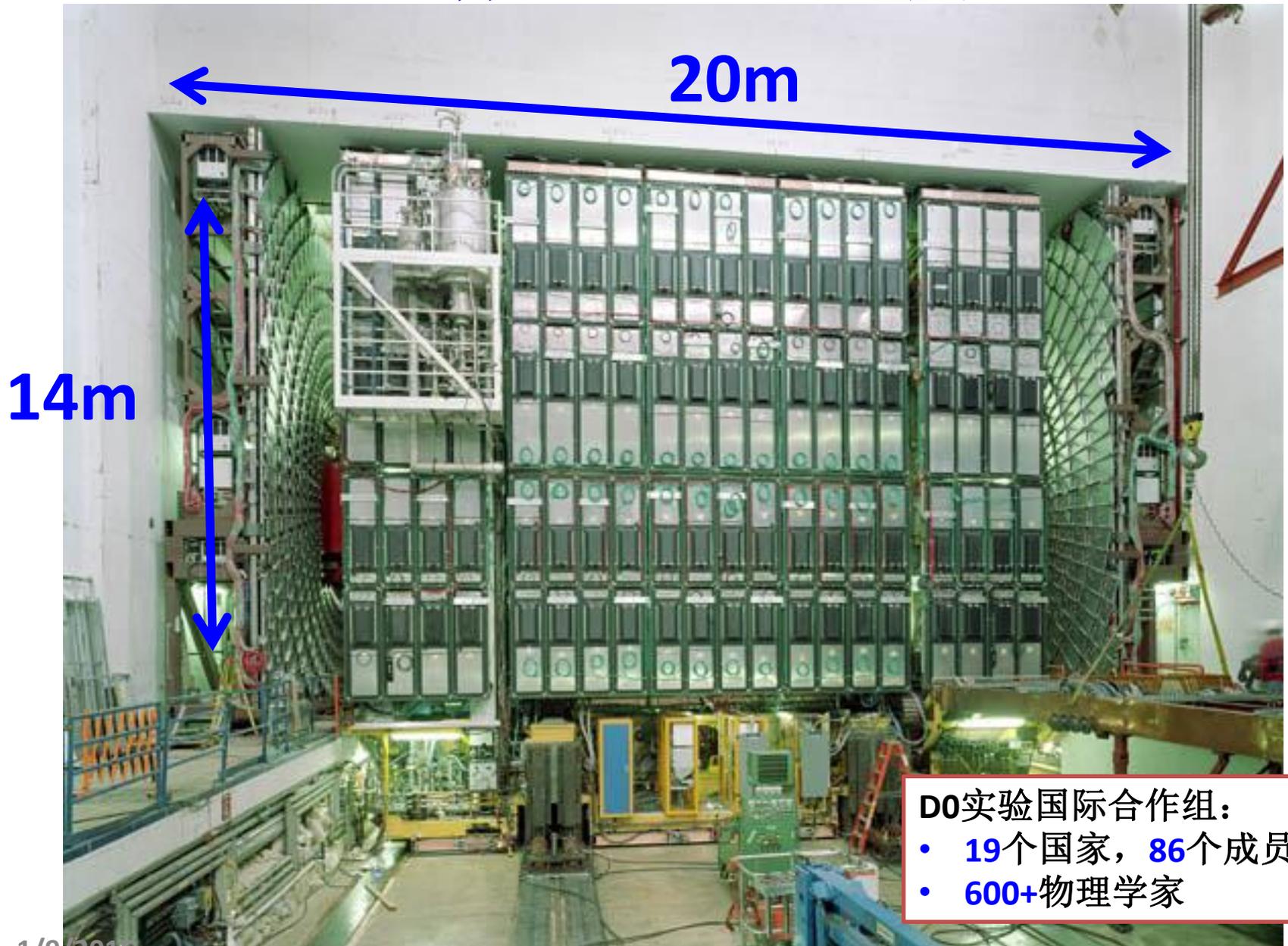
# Tevatron加速器



- Tevatron对撞机：
  - 高能质子反质子对撞：质心能量**1.96万亿**电子伏特（TeV）
- Tevatron在28年的运行中产生了大量先进的科学成果（>1000篇文章）

正反物质对撞最高能量

# D0合作组以及探测器



# 主要学术贡献

1. Z玻色子中测量弱混合角：
  - 标准模型的基本参量：强子对撞机上最精确测量
2. W玻色子的电荷不对称性研究
  - 为理论拟合提供了重要的实验输入
3. 与精确测量相关的探测器研究
  - D0量能器的精确刻度
  - LHC高亮度下硅探测器触发系统研发

# 学术贡献一：Z玻色子中测量弱混合角

基本物理参数与标准模型电弱机制自洽性检验：

精细结构常数

$$\alpha = e^2/4\pi$$

W/Z玻色子质量

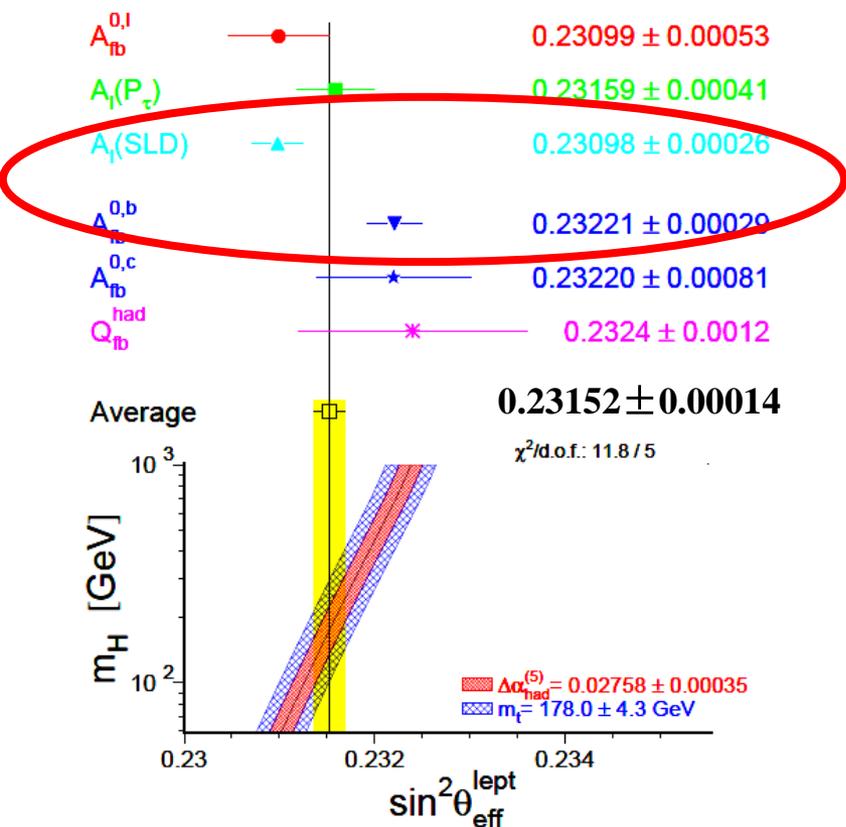
$$M_W, M_Z$$

弱混合角

$$\sin^2\theta_w$$

Higgs质量

$$M_H$$

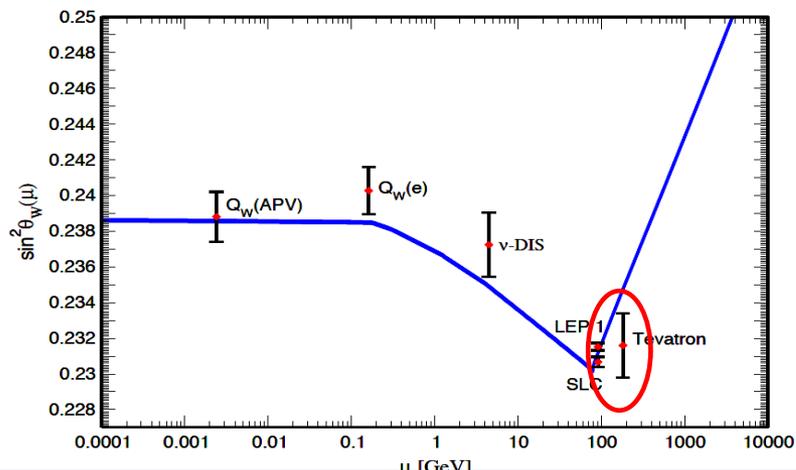


最精确的两个测量来自正负电子对撞机

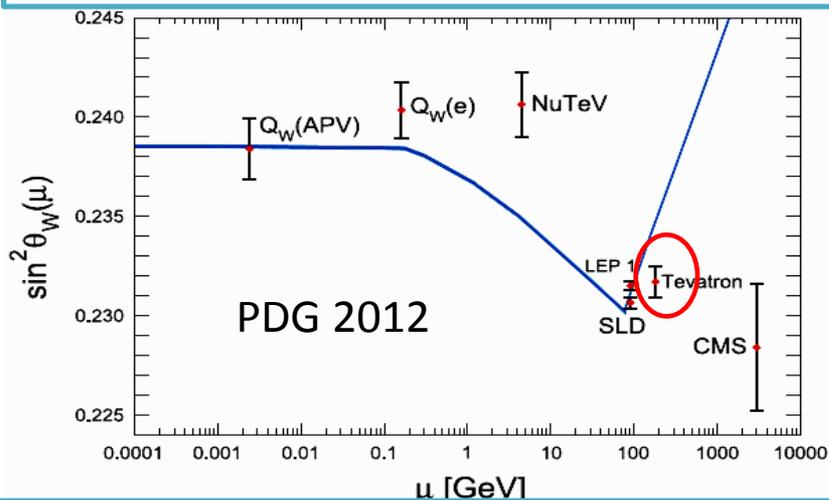
- 欧洲核子中心的大型正负电子对撞机(LEP)
- 美国斯坦福直线加速器(SLD)
- > 2倍标准偏差

# 学术贡献一：Z玻色子中测量弱混合角

国际粒子物理数据库 Particle Data Group (PDG) 收录



**PDG 2010**, D0首次测量[PRL 101, 191801]

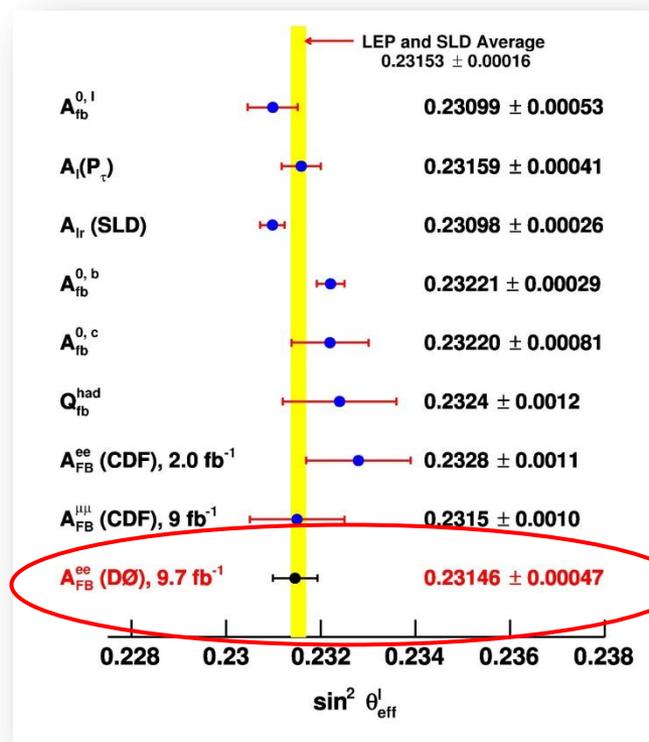


**PDG 2012**, 最精确与轻夸克相关测量 [PRD 84, 012007]

参与主导了前2篇文章的发表

最新结果—

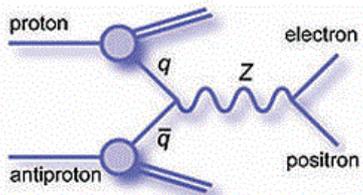
**arXiv:1408.5016**, 经合作组审核同意, 已经提交到PRL



# 学术贡献一：Z玻色子中测量弱混合角

Result of the Week

Z bosons forward and backward



Because it is well known that protons and antiprotons contain quarks, we can precisely study subtle interplays of how quarks interact to form Z bosons and photons.

Today's result involves a study of photons and Z bosons. Photons carry the electromagnetic force. Z bosons carry the weak force. For photons, the laws of physics are symmetric. This just means that if you see an electromagnetic physics process going to the right, you could just as easily see it going to the left. Z bosons do not have the same symmetry. If you see a weak force process going to the left, you'll rarely see it going to the right. It makes you wonder how physicists were able to show in the 1960s that the electromagnetic and weak forces were two facets of the same thing.

Technically, this asymmetry is called the forward/backward asymmetry, although we have substituted the words left and right because it's a bit easier to visualize. Which of the two forces dominates depends on the energy of the collision, which explores the interplay between the weak and electromagnetic forces. Further, the asymmetry is different for up

and down quarks.

The LEP experiments at CERN dominated the study of Z bosons during the 1990s and many of those results are still the best ever. These experiments studied a large sample of events in which electrons and their antiparticles, positrons, annihilated to make Z bosons. The Z bosons decayed into a pair of quarks and antiquarks. The experiments recorded the direction in which the quark was produced (left vs. right). Quarks aren't charged, so they don't get more precise.

-- Don Lincoln



These physicists performed this analysis.



Robert Ilgworth Fermilab, Alan Jonckheere Fermilab, Qizhong Li Fermilab



Jim Linnoman Michigan State, Adam Lyon Fermilab, Yunhe Xie Fermilab

For particle physics experiments, reliable computer operations are the cornerstone on which all other achievements are based. These physicists are responsible for DZero computer operations.

## 费米实验室“每周物理评论”

[http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive\\_2011/today11-03-24.html](http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2011/today11-03-24.html)

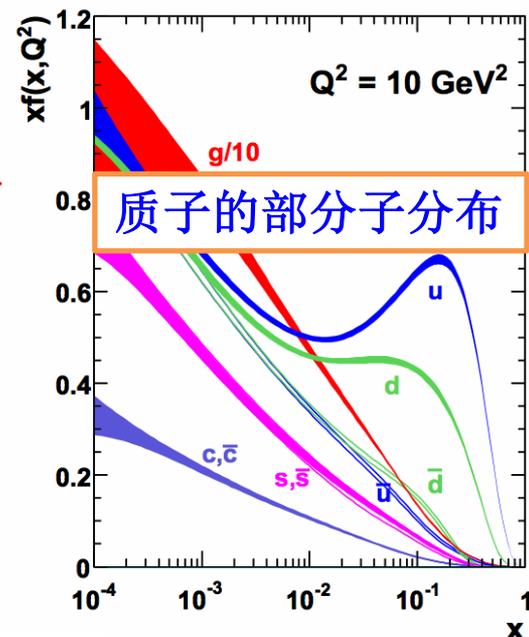
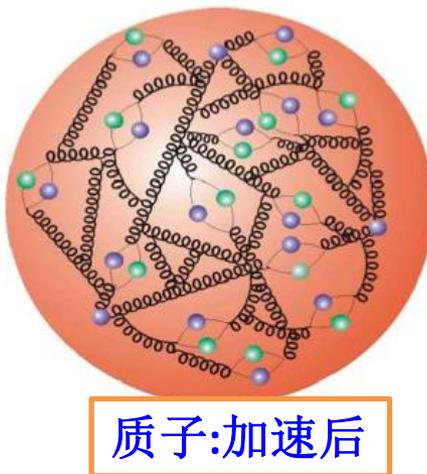
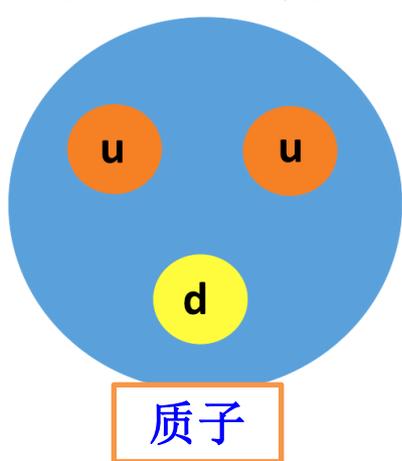
1990年代以来，欧洲核子中心 CERN正负电子对撞机LEP实验一直统领Z<sup>0</sup>物理的世界最精确测量.....

Tevatron/DØ实验首次超过LEP实验相关测量精度，从而确立了一个新的实验标准.....

PRD 84, 012007

# 学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

- 质子的部分子分布函数 (PDFs)



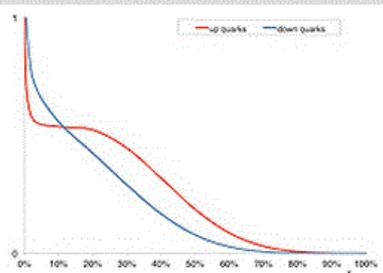
PDFs是强子对撞机上及其关键的输入:

- 几乎所有理论计算的输入值
- 实验上反应截面的计算
- 精确测量的重要误差来源
- 不能直接计算, 只能用实验输入

# 学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

Frontier Science Result: DZero

### Sharing the momentum



This plot shows the probabilities of finding up and down quarks with different fractions of a proton's momentum. The vertical axis is arbitrary and different for the two curves.

Disponible en español!

The parts inside of a proton are called, in a not terribly imaginative terminology, partons. The partons that we tend to think of first and foremost are quarks — two up quarks and a down quark in each proton — but there are other kinds of partons as well.

Each parton in a moving proton carries some momentum, which is a fraction of the total momentum of the proton. Because the partons interact with each other constantly, the momentum of a parton keeps changing. So at any particular time, there is some probability that the down quark is carrying, say, half the momentum of the proton, and later it might be a quarter of the total momentum. The fraction is called  $x$ . When the down quark is carrying half the momentum of the proton, it has an  $x$  of 0.5. These probabilities are key ingredients in calculating what happens in a hadron collider and can only be deduced from experiment.

The figure shows plots of the probability of finding up and down quarks with different fractions of a proton's momentum. DZero has measured the asymmetry in electron and positron directions relative to the direction of the proton's motion when it collides with antiprotons in the Tevatron. The result is the most precise measurement of this asymmetry to date and provides important information about the momentum of the partons of protons. That information is critical in predicting what happens in all sorts of collisions involving protons, such as those at neutrino and LHC experiments.

—Leo Bellantoni



Hang Yin of Fermilab is the primary analyst for the DZero measurement of the W boson production charge asymmetry.



Armand Zybereszajn, Pierre Petroff, Gregorio Bernardi



Elemér Nagy, Patrice Lebrun



## 费米实验室“每周物理评论”

[http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive\\_2014/today14-11-13.html](http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2014/today14-11-13.html)

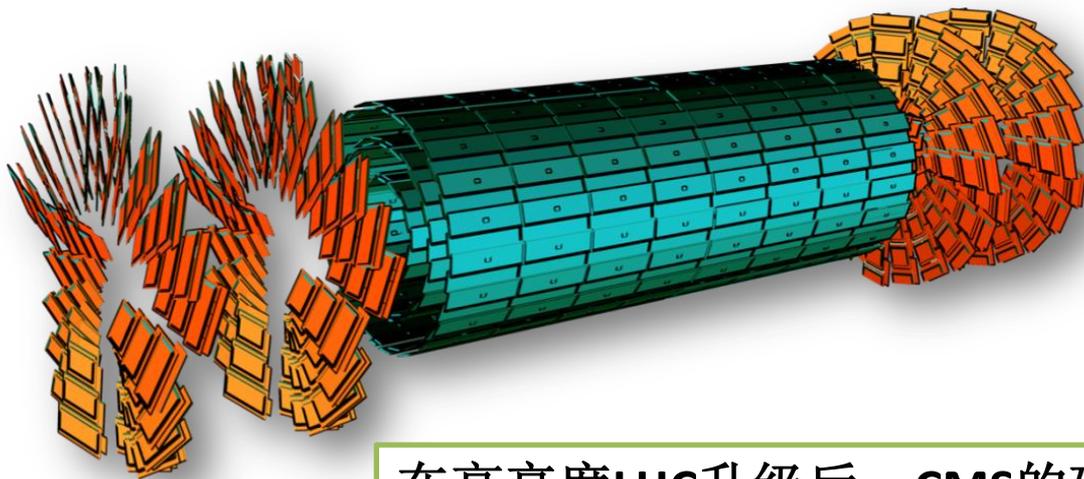
D0的实验结果是目前为止**最为精确**的不对称性测量...

为与**质子**相关的实验提供了至关重要的信息，例如欧洲的**大型强子加速器**和**中微子实验**。

- 独立完成了整个物理分析  
**RPL. 112, 151803 (2014)**  
同时最新结果经合作组  
审核同意，提交到**PRD**

# 学术贡献三：硅探测器触发系统研究

- 硅探测器在高能物理中得到广泛的应用
- 处理大量的电子学信号成为了高能物理发展的**瓶颈**



在高亮度LHC升级后，CMS的硅径迹探测器有大约**7500万**电子学读数通道

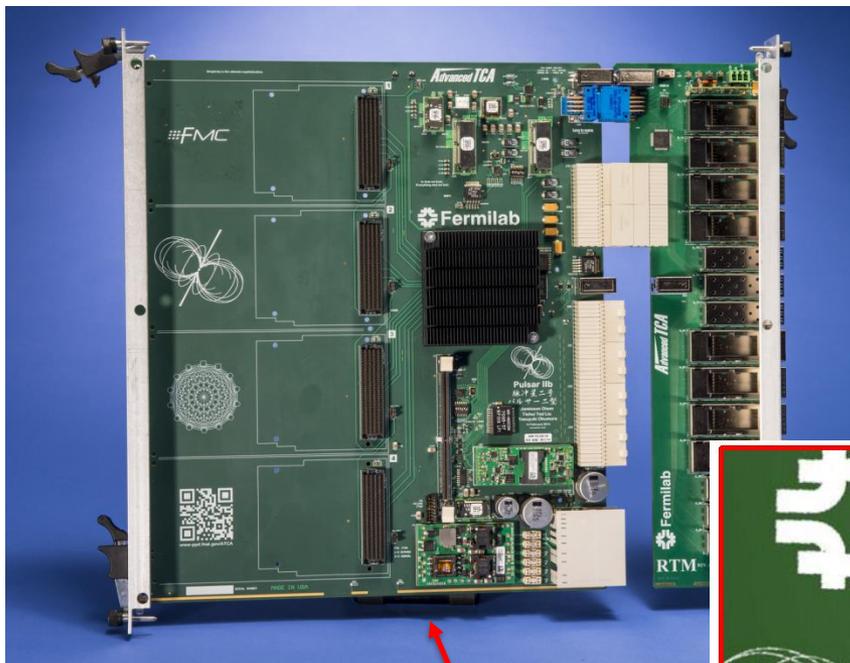
预计的数据峰值有**50T**每秒

- 大约等于**2,3**年前世界上因特网**海底光缆**的总带宽！！

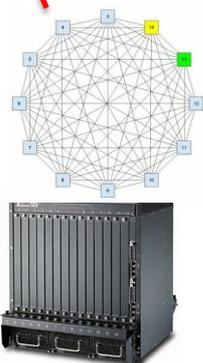
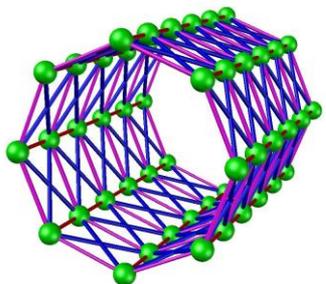
# 学术贡献三： 硅探测器触发系统研究

负责针对ATCA的硬件板的测试，以及模拟工作

- 是世界上针对ATCA背板要求最高的设计：  
多家业内顶尖公司把最新产品送与我们测试
- 多次在CMS内作报告
- 在ieee会议作有关CMS径迹触发的报告，  
并有会议文章



CMS 径迹触发设计结构



# 科研成果及重要影响 (1)

- 在国际主流学术期刊上发表学术论文5篇，主要包括
  - [Physical Review Letters](#) 物理评论快报4篇
  - [Physical Review D](#) 物理评论D 1篇
  - 经合作组审核批准，2篇论文分别提交到PRL与PRD
- D0国际实验的电弱物理研究组**召集人 (Convener)**
  - D0国际合作组的6个**一级物理组**之一，~ 50人左右，下设3个分组。
  - 期间(2012-2014年) 共推动>10篇论文的发表

**Physics Coordinators:** [Bob Hirsoky and Rick Van Kooten](#)

Physics conveners [mailing list](#) and [archive](#); algorithm and physics conveners [mailing list](#) and [archive](#)

Physics Groups (Meeting time)	Conveners
<a href="#">Electroweak</a> (9:30-11:00, Mon)	<a href="#">Breese Quinn, Hang Yin</a>
<a href="#">B Physics</a> (11:00-13:00, Fri)	<a href="#">Marjorie Corcoran, Mark Williams</a>
<a href="#">Higgs</a> (9:00-11:00, Thurs)	<a href="#">Ken Herner, Boris Tuchming</a>
<a href="#">New Phenomena</a> (Shared meeting with Higgs)	<a href="#">Mike Eads</a>
<a href="#">QCD</a> (10:00-12:00, Wed)	<a href="#">Dmitri Bandurin, Ashish Kumar</a>
<a href="#">Top Quark</a> (9:00-11:00, Thu)	<a href="#">Slava Sharry, Andreas Jung</a>

本页有关引用的数据均来自高能物理信息系统 ([inSPIRE:http://inspirehep.net](http://inspirehep.net))

# 科研成果及重要影响 (2)

- 受邀在国际大型物理会议及讲座作物理报告11次
  - 国际物理会议: Moriond 电弱(EW), LHC物理 (LHCP) 等
  - 受邀学术报告: 费米实验室理论和实验联合物理学术报告会, 芝加哥大学物理学术报告会等
- D0量能器刻度组召集人 ( **Convener** ) :
  - 领导近10人小组, 最后一年的量能器刻度工作, 确保了能量流 (Jet)、电子、光子能量精确测量
- 受邀在**硬件国际会议**上做报告1次 ( **ieee**: 国际电气与电子师协会会议)
- 获奖情况:
  - 2010年, 中国物理学会高能物理分会第六届“**晨光杯**”青年优秀论文二等奖
  - 2012年, 安徽省科学技术奖二等奖
- 获**费米实验室“每周物理评论”**报道近10次



 **Fermilab Today**

Thursday, July 31, 2014

The DZero collaboration thanks these members of the collaboration, who have ensured the highest quality of scientific output from DZero by serving as physics group conveners until this summer: Ashish Kumar (State University of New York, Buffalo), Yvonne Peters (University of Manchester, England), Elizaveta Shabalina (Georg-August Universität, Göttingen, Germany), Mark Williams (Indiana University), Hang Yin (Fermilab).

# 全职回国设想和研究计划

- 华中师范大学：
  - “理论物理” 国家重点学科
  - “夸克与轻子” 物理教育部重点实验室
  - 国家基金委“高能核物理创新研究群体”
  - 高能核物理的两大国际合作组：
    - 美国RHIC-STAR实验组
    - 欧洲LHC-Alice实验组国内牵头单位
  - 高能对撞物理的国际合作组：
    - 欧洲LHC-LHCb实验组，在谢跃红教授领导下，于2013年12月加入
    - 谢跃红担任LHCb物理规划成员，“B介子到粲偶素衰变”物理组召集人
  - “111” 引智基地
  - 粒子物理研究所引进许怒和王新年两位千人计划专家
- 华中师范大学提供了十分理想的工作平台和发展空间

# 全职回国设想和研究计划

- 主要研究方向
  - LHCb实验上的B介子测量，LHCb探测器升级的研发工作
  - 参与硅探测器触发系统的研发工作、以及其他前沿硬件的研发
  - 积极参与未来的高能物理对撞机
- 研究和教学相结合，指导学生从事前沿科学研究
- 和现有的团队成员密切合作，与华中师范大学粒子所的理论组优势互补，提高团队的整体创新能力

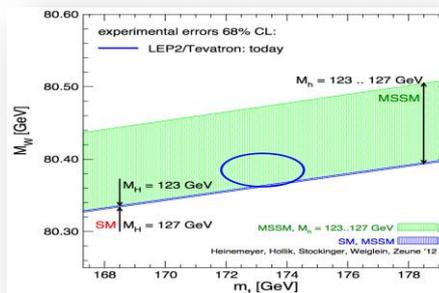
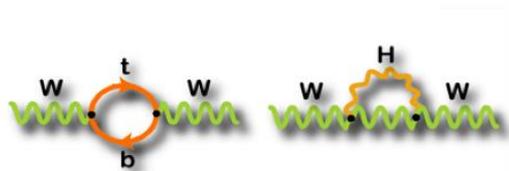
谢谢各位老师！

# Backup

# 电弱物理的重要性

- 精确检验标准模型，确定参数值：

- 精确测量W玻色子质量：

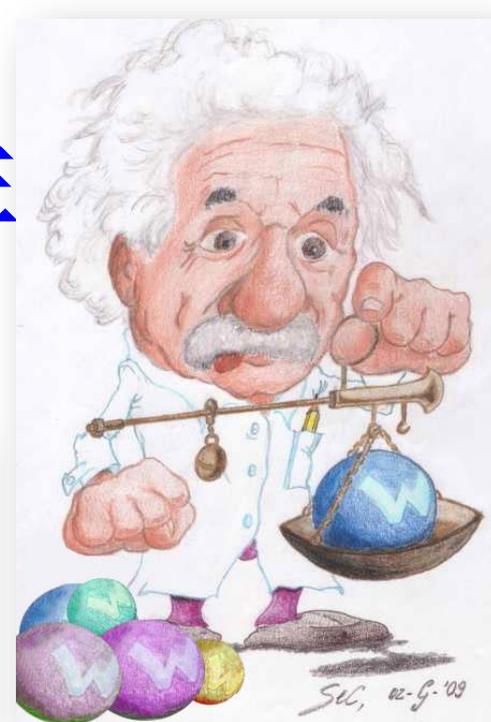


- 弱混合角的测量：

- 标准模型中少有的>2倍误差：最精确两个测量相互偏离2.3标准误差

- 质子的部分子分布函数（PDFs）：

- 在强子对撞机上的重要误差来源
- 可以用玻色子的性质来限制



# 学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

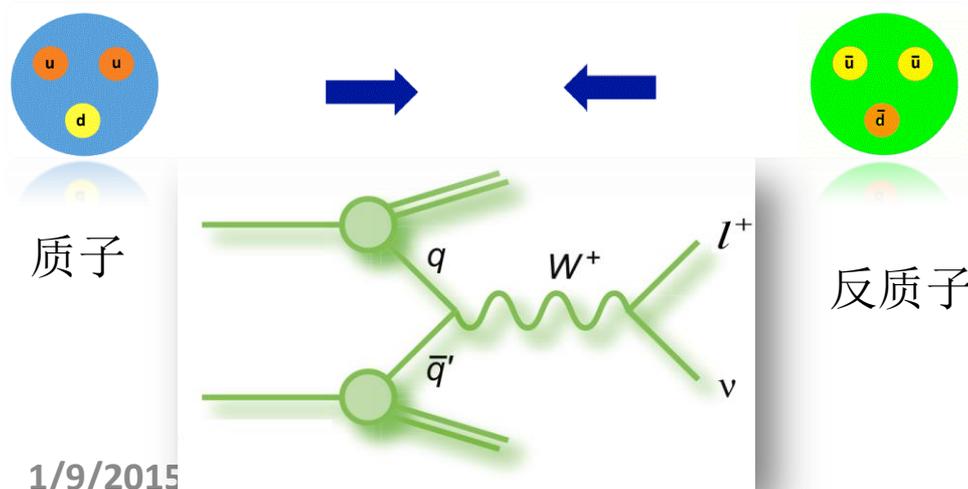
- 低能散射实验 (DIS)



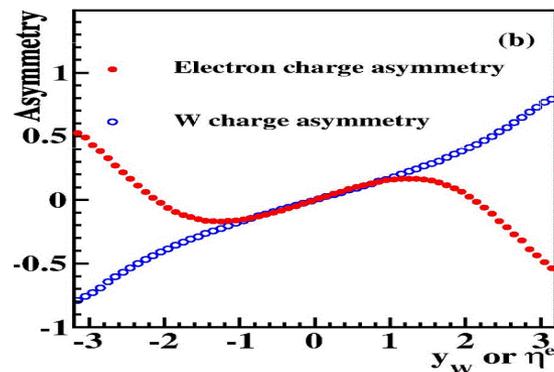
PDFs是强子对撞机上及其关键的输入:

- 几乎所有理论计算的输入值
- 实验上反应截面的计算
- 精确测量的重要误差来源
- 不能直接计算，只能用实验输入

- 强子对撞机上的测量

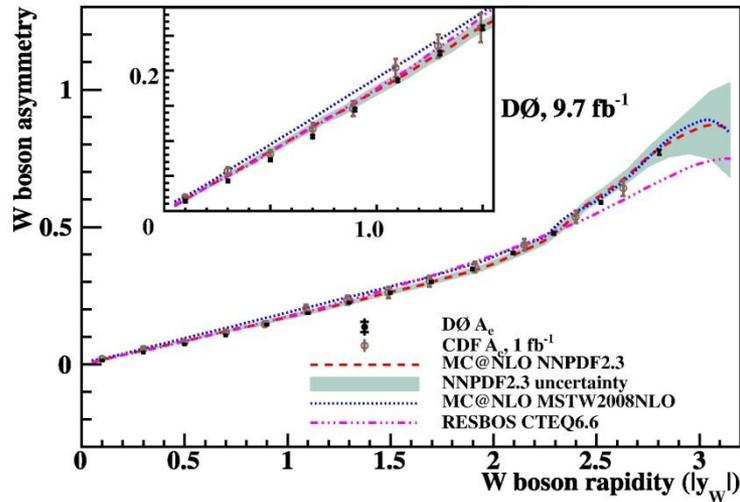


由于u夸克所携带的动量大于d夸克动量

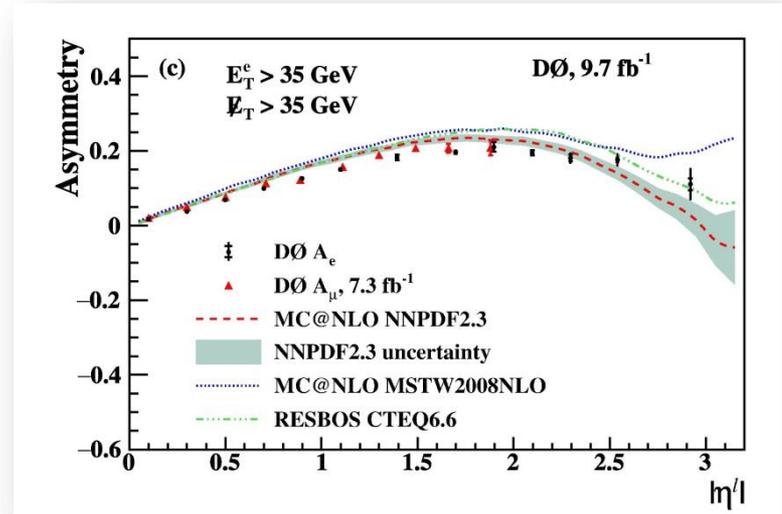
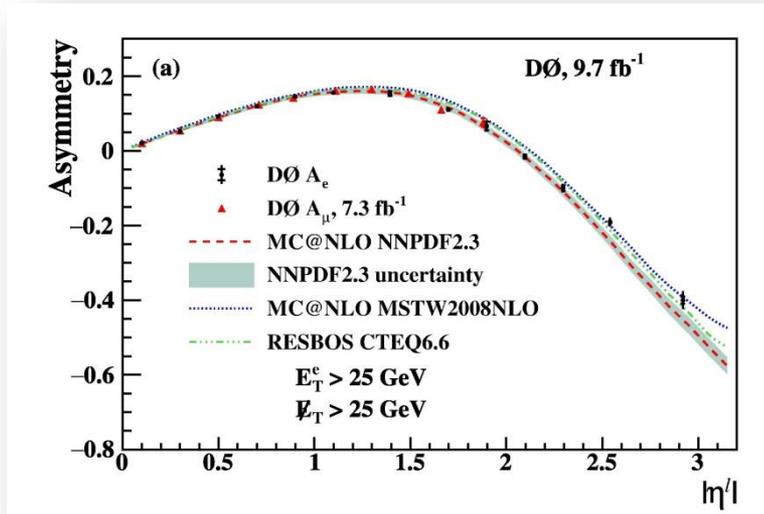


# 学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

Phys. Rev. Lett. 112, 151803 (2014)  
arXiv:1412.2863, 提交到Phys. Rev. D



至今为止，在强子对撞机上最为精确的测量  
将会对PDFs的拟合产生重大影响



# 学术贡献三：硅探测器的触发研究

$10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$

$10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$

HL-LHC:  $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$

$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$

$10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$

Operating conditions:  
one "good" event (e.g Higgs in 4 muons )  
+ ~20 minimum bias events

All charged tracks with  $p_t > 2 \text{ GeV}$

Reconstructed tracks with  $p_t > 25 \text{ GeV}$